

■ 適用している接合技術は——

共同開発機関が鋼材とCFRPとの異材接合技術として、それぞれレーザー溶着、摩擦重ね接合、接着技術の特性評価と基礎研究を進めていますが、早期実用化のため、まずは歴史が長く、工業的知見の蓄積がある接着技術を適用しています。接着剤は接着強度に優れたエポキシ系と接着面の施工性に余裕がある弾性接着剤を使って、それぞれの構造体を試作しました。強度試験の結果などから現状はエポキシ系で進めています。接合技術はより良いものが開発できれば、置き換えていくことが可能なので、構造体と継手の技術開発を同時に進めています。

■ 今後の目標や将来の展開については——

構造要素を組み合わせ、大型化

していきます。最終的には部材の終局限界耐力*を応力換算500MPa強度相当以上に高め、設計強度を現行の鋼構造パネルと同等以上に設定した上で、部材重量の20%低減を目指しています。そのためには継手の品質安定化や継手性能のデータベースの拡充をはじめ、大型複合構造体における設計・製造・品質保証までの一貫した検証などが課題です。

この技術は船だけではなく、橋などのインフラ関連構造体にも応用が可能です。軽量・高剛性な複合構造部材への市場の期待は高いことから、できるだけ早く実用化できるよう、開発を進めていきたいと考えています。

*終局限界状態とは構造物または部材が破壊、転倒、座屈などを起こし、安定や機能を失う状態。



試験後の試作品 (終局限界状態)

載荷試験装置 (奥)。試作品：複合柱構造部材 (手前左)、複合I桁構造部材 (手前右) (横浜磯子分室)

マルチマテリアル構造に対応した接合技術

接合コーディネーター 平田好則氏 (大阪大学未来戦略機構 特任教授)

ISMAプロジェクトでは、マルチマテリアル構造の量産車に適用できる接合技術を開発しています。適材適所の材料ミックスに対応した継手性能を確保することが第一ですが、併せて生産性やコストの視点も重要です。



マルチマテリアル化を実現するためには、超高強度鋼同士、鋼板と非鉄金属、金属と樹脂などをつなぐ接合技術を確立する必要があります。材料の視点からは、図5のように超高強度鋼の接合技術と異材接合技術に大別できます。さらに接合プロセスは、溶融接合、ろう接、固相接合/溶着、接着接合、機械的締結に分類されます。

今後、これらのプロセスによって作成された継手の強度や耐久性などの特徴を明らかにしていく予定です。なお、図中の□で囲んだ接合プロセスは、本プロジェクトのテーマです。

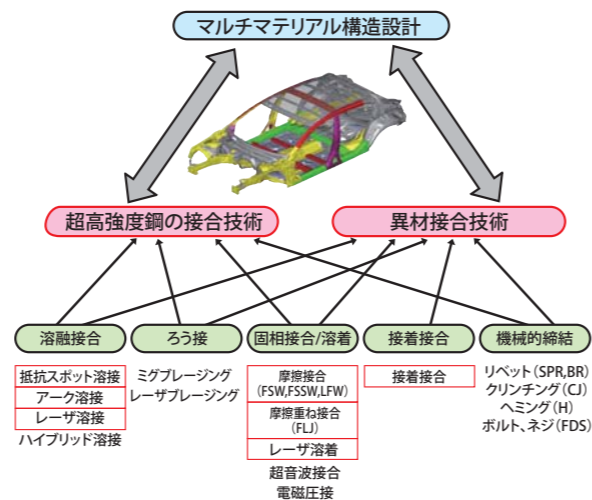
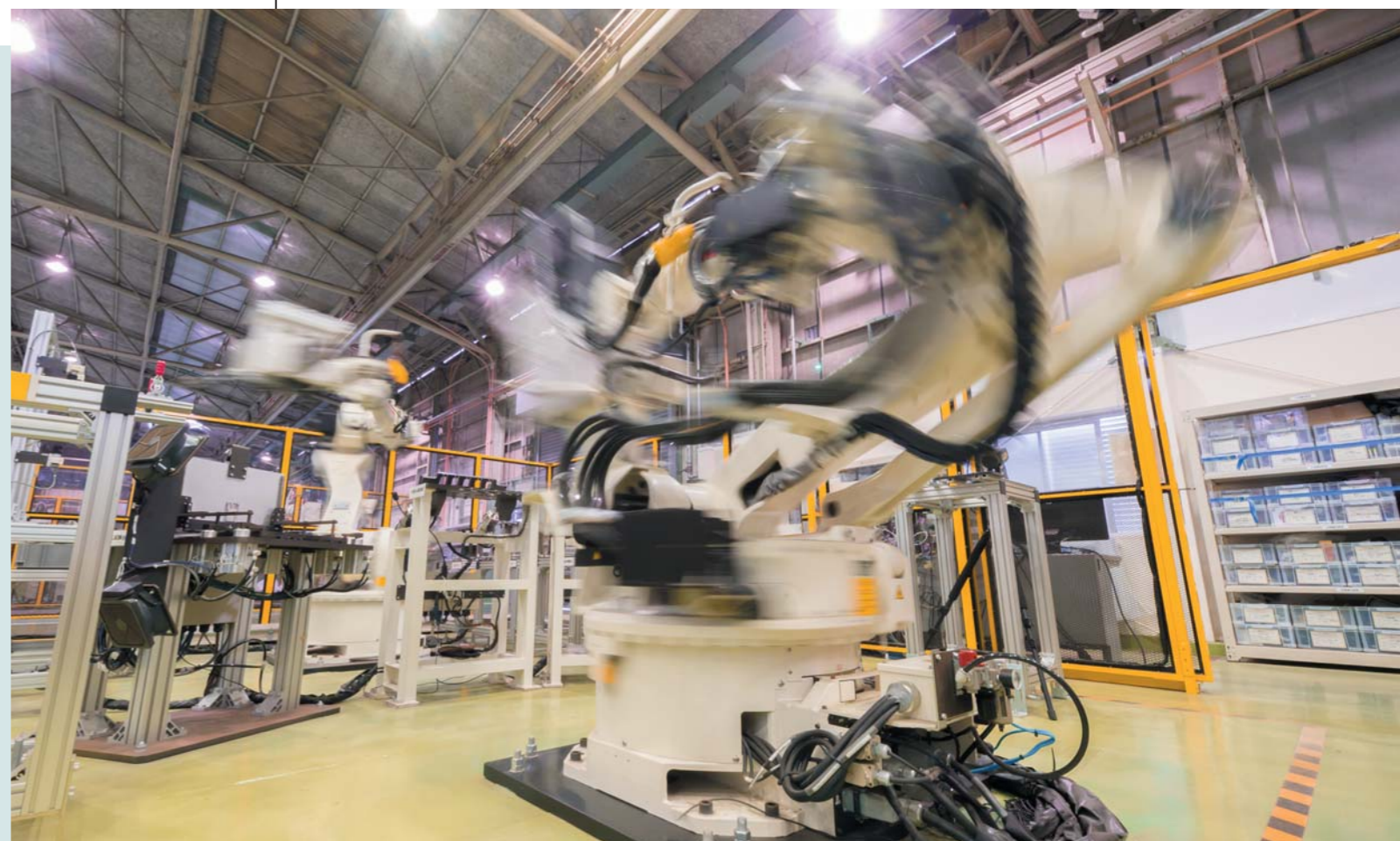


図5 マルチマテリアル構造に対応した接合技術

特集 マルチマテリアル化の鍵を握る接合技術の開発



接合温度制御ソフトを搭載したツール耐久性自動評価システム。接合専用の鋼板用FSJロボット (手前) と試験片を準備する材料ハンドリング専用ロボット (奥) が連動して、餅つき (餅をつく人と返す人) の要領で動く (明石分室)

自動車の軽量化や衝突安全性の向上に向けて、超高強度鋼板の適用や、適材適所に様々な部材を使用するマルチマテリアル化が始まっています。その進展の鍵となるのが接合技術です。

自動車など輸送機器の抜本的な軽量化を促進するISMAプロジェクトでは、「接合技術開発」を課題の一つとして、量産車の製造に適用できる超高強度鋼同士をつなぐ接合技術や、鋼と非鉄金属、金属と炭素繊維強

化樹脂 (CFRP) などをつなぐ異材接合技術の開発を進めています。2017年度は接着技術の開発が新テーマとして加わり、計10テーマを16分室とISMA本部で実施しています。

今号では、超高強度鋼板の接合技術の開発を進める明石分室 (川崎重工工業株式会社) と、鋼材とCFRPの接合技術を開発している横浜磯子分室 (株式会社IHI) に、開発への取り組みや研究成果について伺いました。

ISMAの活動についての報道

● 雑誌

- 2017年3月号 日経ものづくり「金属の逆襲：素材で攻める」
- 2017年5月号 日経Automotive「2017年の技術キーワード：超高張力鋼板」

ISMA REPORT June 2017, No.7

©Innovative Structural Materials Association. 2017 All rights reserved.

発行 新構造材料技術研究組合 (ISMA)

お問い合わせ先 新構造材料技術研究組合 (ISMA) 技術企画部
〒100-0006 東京都千代田区有楽町1-9-4 蚕糸会館10階
Tel: 03-6213-5655 Fax: 03-6213-5550
制作協力: サイテック・コミュニケーションズ
デザイン: 高田事務所 撮影: 石川典人 (表紙ほか)

特集 | マルチマテリアル化の鍵を握る接合技術の開発

■ 超高強度鋼板をつなぐ接合技術FSJの開発

自動車産業用の溶接ロボットを製造・販売している川崎重工業。本プロジェクトでは明石分室として、「中高炭素鋼／中高炭素鋼のフリクションスポット接合 (FSJ) 技術の開発」をテーマに、接合が難しい超高強度鋼板の接合技術を開発しています。同分室はテーマの取りまとめ役として主に接合ロボットシステムの開発を担い、伊丹分室 (住友電気工業株式会社) が接合ツールの開発、尼崎分室・富津分室 (新日鐵住金株式会社) が鋼板開発と接合性評価、東北大学が金属組織・接合メカニズムの解明を進めています。

〔プロジェクトリーダーに聞く〕

明石分室 (川崎重工業株式会社)
大橋良司氏



FSJとはどんな接合技術でしょうか――

当社が1990年代後半から自動車メーカーと共同で実用化に取り組み、2003年に実用された技術です。摩擦撹拌接合 (FSW) を点接合に改良したもので、一般的には摩擦撹拌点接合 (FSSW) と呼ばれています。

主に自動車部品のアルミニウム (Al) 合金などの接合に、抵抗スポット溶接の代替として使用されています。FSJをAl合金に適用した場合、他の接合方法に比べて、消費電力が小さく打点コストが安い、リベットやネジなどの副資材が不要など多くの優位性があります。Al合金用FSJロボットは自動車メーカーを中心に約300台が稼働していますが、この技術を鋼に適用できれば、世界で2万台以上も稼働している抵抗スポット溶接ロボットから置き換えられる可能性があります。



FSJロボットで鋼板を接合中

研究の背景について教えてください――

近年、自動車のボディには衝突安全性の向上や軽量化のために超高強度鋼板が使用されています。超高強度鋼板は強度を高めるため炭素を含みますが、現在、炭素をさらに多く含んだ中高炭素鋼が開発されています。しかし、自動車の生産でよく使われる抵抗スポット溶接では、溶接部が焼き入れ状態となって脆くなり、剥離強度が低下してしまうことが課題となっています。

そこで固相状態で接合できるFSJなら、低温で接合できるため、接合部の脆化を抑制し、剥離強度を大幅に改善できるというアイデアが生まれ、研究がスタートしました。本プロジェクトでは1.5GPa級中高炭素鋼に対するFSJ接合技術の確立を目指しています。



接合部を撮影し、接合状態を確認

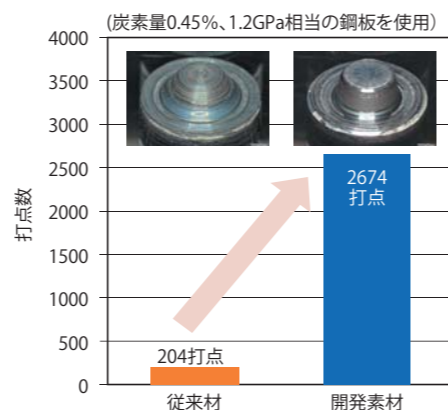


図1 実接合による開発ツール素材の耐久性評価

超高強度鋼板の接合で苦労している点は――

ツールの耐久性と接合中の温度制御です。すでにAl合金で適用されている技術とはいえ、1.5GPa級の鋼板の接合に耐えるツールはありませんでした。そこで自動車メーカーが求めるコスト (1打点1円以下) を目標に、まずは高耐久性ツールの開発に着手しました。ツール自体の開発は伊丹分室が行っています。われわれは開発したツールを迅速に評価するため、ツール耐久性自動評価システムを構築しました (表紙写真)。人が行うと1日1500打点程度しか評価できませんが、このシステムなら最大で1日に1万打点の連続打点試験が可能です。

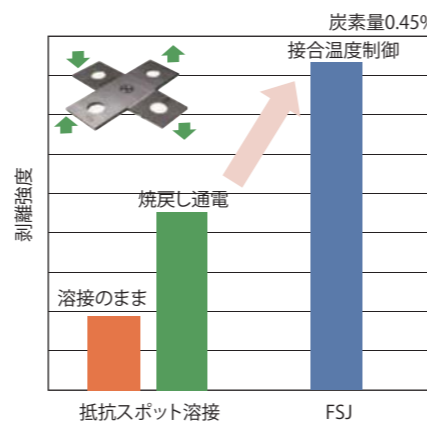


図2 抵抗スポット溶接とFSJ継手の剥離強度の比較

ツールの素材としてはコスト面と耐久性に優れた超硬合金を採用し、高温の耐塑性変形性能を改良しました。耐摩耗性は市販の超高強度鋼板 (引張強度1GPa級) の実接合評価を実施。コーティングについては窒化物をベースとしたPVD (物理蒸着) をツールに施し、密着力と耐高温酸化性を向上させました。このツールを引張強度1.2GPa級の炭素鋼板を用いて、耐久試験を行ったところ、寿命は従来材を大きく上回り、実用化に一定のめどが立ちました (図1)。

接合温度の制御に関しては、焼き入れ温度より低い温度を保持した状態で接合することができる専用制御ソフトを開発。これにより焼き入れに伴う硬化が抑制され、剥離強度が大きく改善されました (図2)。

今後の目標や実用化に向けた課題は――

国家プロジェクトとして他社・他機関と連携して進めることで、本開発を加速さ

せることができました。今年度はツールの長寿命化、鋼板用FSJロボットシステムの開発に取り組み、基本技術を確立します。実用化に向けてツールの量産技術やロボットの小型化などを進め、世界で初めて自動車ボディの生産ラインで適用されることを目指します。

またFSJによるAlの接合技術はすでに実用化されていますので、鋼の接合技術が確立できれば、1台のFSJロボットで、Al、鋼、異材接合への対応も可能です。

■ CFRP／鋼材複合部材で船舶の軽量化を目指す

幕末に設立された造船所が起源となるIHI。現在は造船業界大手ジャパンマリンユナイテッド (JMU) 株式会社の母体企業の一つとして、造船技術の開発に携わっています。本プロジェクトでは横浜磯子分室として、「鋼材／CFRP等樹脂材料の接合技術開発」をテーマに、船舶の軽量化に向けて、CFRPと鋼材の複合部材を開発しています。同分室はテーマの取りまとめ役として主に構造体の設計を担い、大阪大学がレーザ溶着技術と摩擦重ね接合技術、物質・材料研究機構 (NIMS) が接着技術の基盤研究を行っています。

〔プロジェクトリーダーに聞く〕

横浜磯子分室 (株式会社IHI)
山岡弘人氏



開発の経緯について教えてください――

輸送機器の軽量化を掲げる本プロジェクトにおいて、われわれは船舶 (コンテナ船) を軽量化し環境負荷を低減することを目指しています。造船技術は長い歴史の中で、船体の形状や構造などについての膨大な研究開発が行われ、性能は極限まで高められています。そこで今回は、まだ開発の余地がある上部構造に着目しました。現状、上部構造は鋼材を使用していることから、それをCFRPとの複合構造部材に置き換えることで軽量化が可能です。また上部が軽くなると重心が下がって安定するので、素早く曲がれるようになるなど操縦性能が高くなり、燃費も向上します。

これまでの研究成果は――

まず構造体を設計し、それに必要な溶接、継手強度の目標値を設定します。船舶上部の主な構造要素として「パネル」「桁」(天井や床を支える梁の役割)「柱」がありますが、複合I桁構造部材と複合柱構造部材を設計、試作しました。試作サンプルの強度試験を行い、設計値と比較するというサイクルを繰り返し、設計手法の

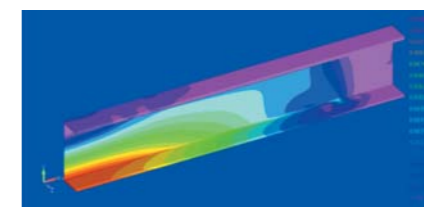


図3 複合I桁構造部材解析例



近未来コンテナ船完成予想図 (提供: IHI, JMU)

妥当性を評価しています。設計の前提として、例えばCFRPは引張りに強く圧縮に弱いので、引張り側の部材に使用し、鋼は圧縮側に使用するなど、それぞれの長所を生かし、構造体の中で適材適所に採用しています。

これまで複合柱構造部材は、最高耐力力≧設計降伏荷重を達成し、設計の妥当性を確認しました。複合I桁構造部材に関しては、さらなる構造の改良と接合プロセスの改善を行っています。

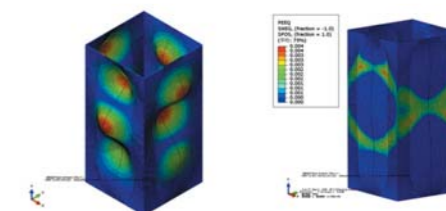


図4 複合柱構造部材解析例 (左:線形座屈解析、右:非線形座屈解析)